

Análisis Multicriterio Para La Evaluación Del Riesgo De Inundación En El Municipio De Chiquinquirá Del Departamento De Boyacá.

Caren Lorena Salamanca Romero, clsalamancar@unadvirtual.edu.co

Directora: Evangelina Parra Perez, Evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

Este estudio analiza el riesgo de inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para delimitar la cuenca hidrográfica y evaluar la susceptibilidad del territorio ante eventos hidrometeorológicos extremos. La delimitación de la cuenca, realizada con el sistema de referencia GCS WGS 1984, identifica los límites del área drenada por el río principal y sus tributarios, destacando una red hidrográfica ramificada que refleja una topografía variada con altas densidades de drenaje.

El análisis de riesgo de inundación se clasifica en cinco categorías (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), mostrando que el 61.1% del territorio presenta riesgos medio y alto, principalmente en el centro y noroeste, áreas donde la pendiente, la baja cobertura vegetal y las actividades humanas incrementan la vulnerabilidad. Las herramientas SIG, junto con técnicas de clasificación espacial, permitieron generar mapas detallados, gráficos y tablas que facilitan la interpretación y planificación del uso del suelo. Los resultados subrayan la necesidad de estrategias de mitigación, planificación territorial y gestión sostenible de los recursos hídricos para reducir el impacto de futuras inundaciones.

Palabras claves: Inundación, Análisis Multicriterio, Riesgos Naturales, Uso de SIG.

Introducción:

El artículo “*avances de los SIG al análisis y gestión del riesgo por inundaciones: avances recientes*” explora las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la modelización hidrológica e hidráulica para la gestión del riesgo de inundaciones en España. Destacando diversas herramientas y estudios, como GISTools para la modelización HMS y la aplicación MAXIN para la estimación de la precipitación máxima anual, al tiempo que enfatiza la importancia de los SIG en el análisis del riesgo de inundaciones, la cartografía de áreas propensas a inundaciones y la planificación de emergencias. (Llorente Isidro, 2009)

El documento también analiza la integración de los SIG con los modelos hidrológicos, la delimitación de áreas propensas a inundaciones y las iniciativas recientes en la gestión de datos históricos de inundaciones, mostrando el importante papel de los SIG en la mejora de las estrategias de gestión de inundaciones. (Llorente Isidro, 2009)

La integración de los sistemas de información geográfica (SIG) con los modelos hidrológicos mejora significativamente los esfuerzos de predicción y mitigación de inundaciones de varias maneras; los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas clave para la gestión y evaluación del riesgo de inundaciones. Facilitan la

regionalización e interpolación de datos hidrológicos, la delimitación automatizada de zonas inundables mediante modelos como HEC-RAS, y la gestión colaborativa de bases de datos espaciales. Además, permiten integrar modelos predictivos para mejorar la previsión y respuesta a eventos de inundaciones, y apoyan la planificación de medidas de mitigación mediante mapas de riesgos integrados y estrategias de gestión del territorio. (Llorente Isidro, 2009)

En general, la sinergia entre los SIG y el modelado hidrológico proporciona un marco integral para analizar los riesgos de inundaciones e implementar estrategias de gestión eficaces. (Llorente Isidro, 2009)

El estudio “*Determinación del uso potencial agrícola mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio para la cuenca Balsas Mezcala*” de Espejel-García (2015) evalúa el uso potencial agrícola en la cuenca Balsas-Mezcala mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio. Se consideran factores climáticos (precipitación, temperatura), edáficos (nutrientes, pH), topográficos (altitud, pendiente) y de uso del suelo. Utilizando un método de ponderación, se generaron mapas de aptitud con seis niveles, desde "muy apto" hasta "no apto".

Los resultados muestran que el 44% de la superficie es "apta" y el 56% "moderadamente apta" para cultivos básicos, y el 88.8% de la cuenca es viable para la agricultura de riego. También se identifican áreas aptas para cultivos hortícolas e industriales. El subsector hortícola, aunque ocupa solo el 3.8% de la superficie agrícola en México, aporta el 21% del valor de la producción, destacando su importancia económica. (Espejel-García, 2015)

El estudio resalta que las tecnologías de análisis espacial y SIG mejoran la identificación de áreas agrícolas, beneficiando a las comunidades y promoviendo el desarrollo

agroindustrial sostenible. (Espejel-García, 2015)

En el documento denominado “*Evaluación del Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá – Boyacá*” cabe resaltar varios aspectos predominantes en el estudio realizado, donde parámetros como color aparente, turbiedad, hierro total y microorganismos han excedido los límites permisibles, determinando clasificaciones de IRCA entre 2010 y 2020 muestran riesgos altos e inviabilidad sanitaria en ciertos periodos; Factores como la presencia de arcillas y deficiencias en los tratamientos primarios de la PTAP contribuyen a la mala calidad del agua. (González Contreras, 2020).

Colombia es altamente vulnerable a inundaciones debido a su geografía y clima, siendo el departamento de Boyacá un ejemplo de riesgo significativo por su topografía, actividad sísmica y patrones de precipitación. A nivel nacional, factores como el fenómeno de La Niña, la deforestación, la urbanización descontrolada y el cambio climático agravan la frecuencia e intensidad de estos eventos, incrementando la vulnerabilidad de las comunidades afectadas. (GOV.CO, 2024)

En Boyacá, las inundaciones suelen ocurrir en zonas cercanas a ríos como el Chicamocha, Suárez y Negro, especialmente durante la temporada de lluvias; dentro de factores predominantes que contribuyen al incremento en el índice de riesgo por inundaciones encontramos, la presencia de valles estrechos y pendientes pronunciadas facilita la rápida concentración de las aguas lluvias; la actividad sísmica puede desencadenar deslizamientos de tierra que obstruyen los cauces de los ríos, aumentando el riesgo de inundaciones; La expansión urbana y la construcción de vías sin las debidas medidas

de mitigación incrementan la vulnerabilidad de las comunidades. (GOV.CO, 2024)

En paralelo, estudios en Colombia, como el trabajo de González Contreras (2020) en Chiquinquirá, Boyacá, ponen de manifiesto problemas de calidad hídrica y vulnerabilidad ante eventos extremos. Las evaluaciones de parámetros como color aparente, turbiedad y microorganismos evidencian riesgos sanitarios y altos niveles de deterioro en la infraestructura hídrica. Esta situación, sumada a factores geográficos y climáticos característicos del país, como la incidencia del fenómeno de La Niña y el cambio climático, agravan la exposición al riesgo de inundaciones, especialmente en regiones como Boyacá donde confluyen pendientes pronunciadas, actividad sísmica y prácticas de urbanización inadecuadas (GOV.CO, 2024).

En este contexto, la integración de los SIG con modelos hidrológicos, como lo evidencian las experiencias internacionales y nacionales, emerge como una herramienta crucial para evaluar, prevenir y mitigar los impactos de las inundaciones, asegurando una gestión más eficiente y sostenible del riesgo.

Objetivos

General:

Analizar los datos multicriterio del riesgo por inundación del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

Específicos:

- Utilizar herramientas SIG y métodos de evaluación multicriterio, como base para la gestión y planificación agroambiental del territorio.
- Integrar variables geoespaciales como pendiente, modelo de elevación digital (DEM), coberturas de tierra,

precipitaciones y distancia a drenajes, para su reclasificación y análisis.

- Aplicar métodos de suma ponderada para establecer un índice de riesgo de inundación, de acuerdo con los pesos asignados a las variables.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Chiquinquirá ($5^{\circ}37'03''N$ $73^{\circ}48'59''O$) se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá y capital de la provincia de occidente, ubicada en el valle del río Suárez, está en el suroccidente del departamento, en el altiplano cundiboyacense. con una población de aproximadamente 65.274 habitantes, es el cuarto municipio más poblado del departamento.

Cuenta con una extensión de 171Km² y una altitud media de 2.556 m.s.n.m; el municipio limita por el norte con Saboya; por el sur, con San Miguel de Sema, Simijaca y Caldas; por el oriente con Tinjacá y Simijaca; y por el occidente con Caldas y Briceño (101CeroSoftware, 2024).

En cuanto a reservas naturales en el municipio existen cuatro zonas como son la Cuchilla Bocamonte en las veredas Varela, Resguardo y los Andes; Cuchilla Terebinto en las veredas de Córdoba y Hato de Susa y el Bosque Pantanitos en las veredas de Sasa y Moyavita, además la Reserva Forestal de la vereda Tenería (101CeroSoftware, 2024).

Se encuentra a 134 km de Bogotá y 73 km de Tunja; Su territorio es una llanura aluvial apta para la agricultura y ganadería. En cuanto a sus ríos principales son el río Suárez (nace en la laguna de Fúquene) y el río Chiquinquirá (nace en el municipio de Caldas); Destaca la quebrada Quiche, usada para abastecimiento hídrico de la vereda Quiche mediante un acueducto. (González Contreras, 2020)

Según el IDEAM (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales), las precipitaciones en el municipio de Chiquinquirá se encuentran entre 1000 a 1500 mm al año, determinando un promedio mensual entre 83.3 a 125 mm mensuales (IDEAM, 2024), dentro de los meses con las precipitaciones más representativas encontramos marzo con 29 días de lluvia y una acumulación aproximada de 593 mm, abril con 29 días de lluvia y 585 mm acumulados, mayo con 27 días de lluvia y noviembre con 27 días de lluvia, tomando como referente para el presente análisis el mes de marzo. (Pelmorex.Corp, 2024)

Metodología

El análisis multicriterio es una técnica empleada para evaluar y ponderar múltiples criterios espaciales como también no espaciales con el fin de analizar territorios y tomar decisiones basadas en información geográfica de problemas complejos. (Espejel-García, 2015)

Este enfoque es ampliamente utilizado en planificación territorial, gestión ambiental, riesgos en cuanto a desastres naturales y potencial agrícola de los territorios.

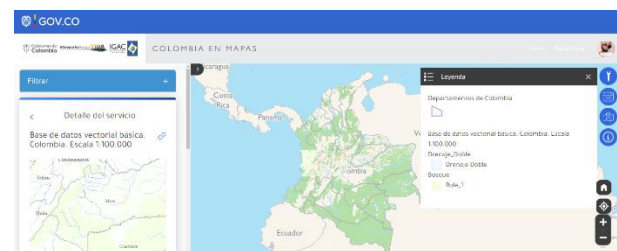
El análisis se llevará a cabo mediante investigación descriptiva y correlacional, ya que se pretende describir el proceso posible de la aplicación en el programa ArcGIS Pro del método de análisis multicriterio y como se ejecutó cada proceso, como también determinar la relación que tienen las variables de estudio, orientado por un enfoque mixto en el uso de variables cualitativas y cuantitativas que surgirán con el desarrollo de los objetivos específicos, contara con un diseño documental

y practico en la medida que se realizara la ejecución de los procesos descritos en el aplicativo ArcGIS Pro.

La presente investigación será orientada por la línea de investigación gestión y manejo ambiental de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

El proceso metodológico empleado en el presente análisis parte de la Selección de un municipio/departamento de interés como área de estudio utilizando datos proporcionados por el IGAC (Geo visor Colombia en Mapas); en el presente caso se seleccionó el departamento de Boyacá, se identificaron y descargaron las capas vectoriales relevantes: drenajes dobles y sencillos, departamentos y oferta ambiental.

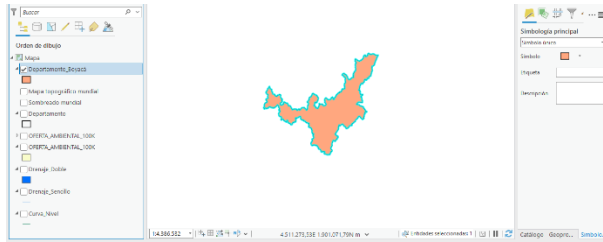
Figura 1. Fragmento de la base de datos vectorial básica de Colombia a escala 1:100.000.



Fuente: Obtenida de la plataforma Colombia en Mapas. (IGAC, 2024)

Seguidamente se procedió a la preparación de datos espaciales, cargando los datos en ArcGIS Pro y organizándolos en un proyecto de mapa. Se realizó una exportación de del departamento de Boyacá para crear una capa específica que delimite el área de análisis.

Figura 2. Esri. *Exportación de Departamento de Boyacá.*

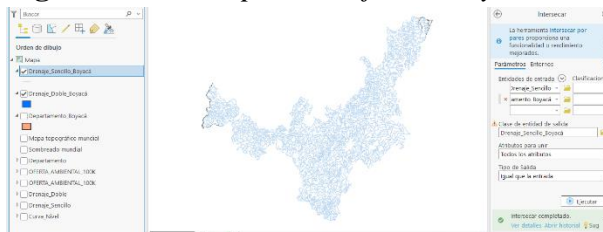


Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Se procedió a la aplicación de geoprocesos espaciales como:

Intersección: Se combinaron las capas de drenajes con los límites del área de estudio para generar nuevas capas específicas de drenajes.

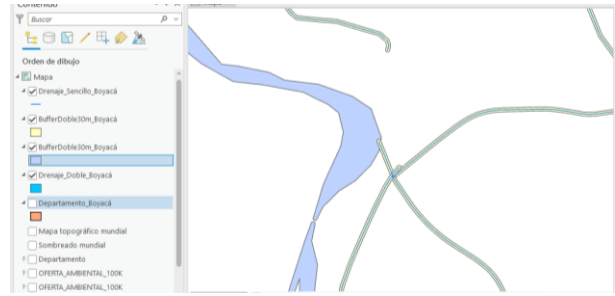
Figura 3. Esri. *Capa Drenajes de Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Buffer (Zona de influencia): Se crearon zonas de influencia de 30 metros para los drenajes dobles y sencillos.

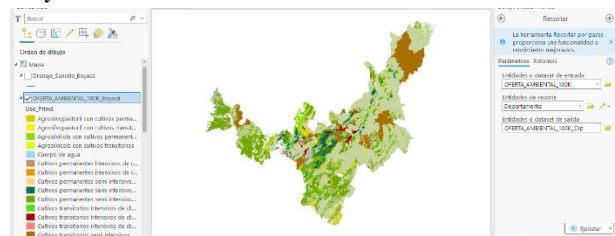
Figura 4. Esri. *Buffer Drenajes dobles y sencillos de Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Recorte: La capa de oferta ambiental fue recortada según los límites del departamento.

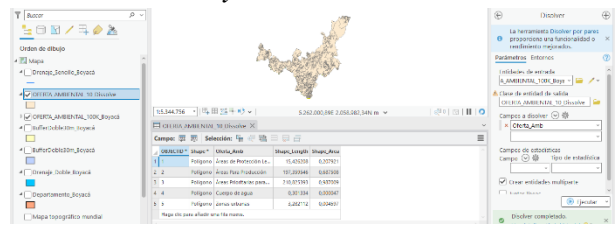
Figura 5. Esri. *Capa Oferta Ambiental de Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Disolución: Para simplificar la información de la oferta ambiental, se utilizó el geoproceso de disolver.

Figura 6. Esri. *Capa Disolución de Oferta Ambiental de Boyacá.*

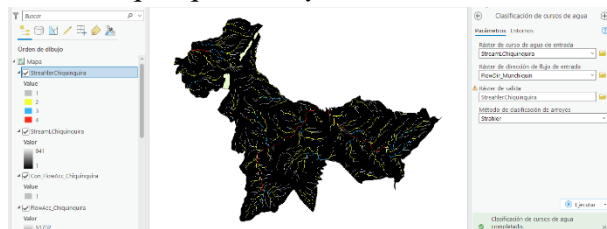


Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Posteriormente se procede a la aplicación de análisis hidrológico, realizando la

delimitación de cuencas hidrográficas mediante la utilización del DEM del municipio de Chiquinquirá, Boyacá, se aplicaron procesos de relleno, dirección de flujo y acumulación de flujo para delimitar subcuencas, a su vez se realizó el cálculo de áreas de interés utilizando herramientas de evaluación condicional y diferencia simétrica para identificar áreas específicas de producción y de restricción ambiental.

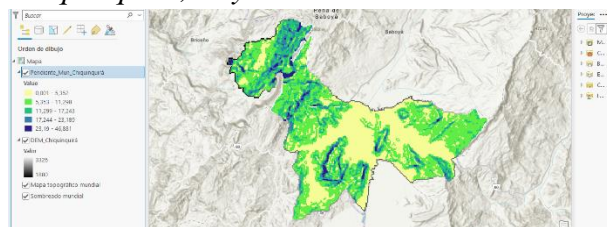
Figura 7. Esri. *Capa Cuencas Hidrográficas Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

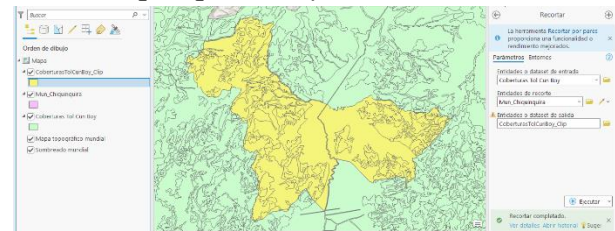
Contando con las bases necesarias para la aplicación de análisis multicriterio se procedió a generar un modelo integrado, en el cual se evaluaron factores como: Elevación, pendiente, cobertura de tierras, precipitaciones y proximidad a drenajes. Cada factor fue ponderado según su importancia relativa en el análisis (e.g., precipitación: 35%, distancia a drenajes: 30%). La ponderación se basó en estudios previos y criterios expertos.

Figura 8. Esri. *Capa Pendientes del Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Figura 9. Esri. *Capa Cobertura de Tierras de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

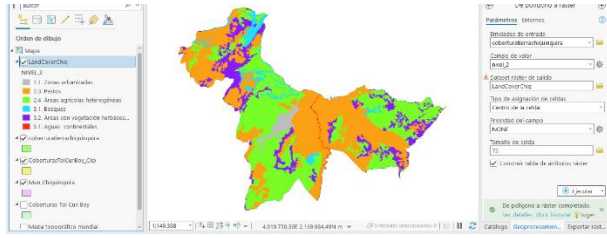
Figura 10. Esri. *Capa precipitaciones y proximidad a drenajes de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

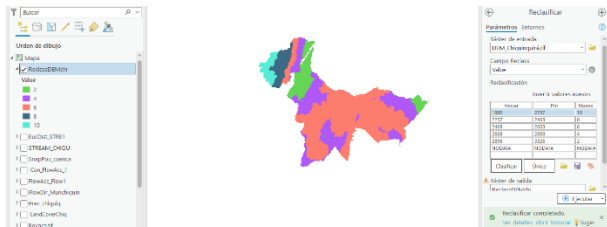
Seguidamente se procedió a realizar la reclasificación de datos donde cada capa fue reclasificada a una escala común utilizando métodos de rupturas naturales. Se asignaron valores cualitativos (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) transformados en valores numéricos (2 a 10). Se utilizaron tablas de clasificación específicas para adaptar la asignación de valores al contexto del municipio.

Figura 11. Esri. *Land Cover Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



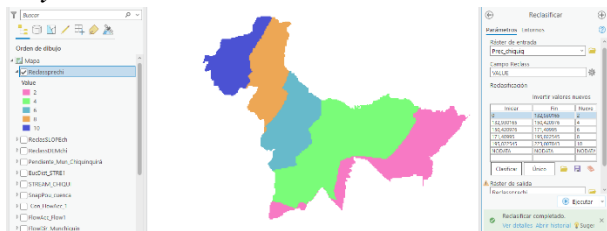
Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Figura 12. Esri. *Reclasificación DEM de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



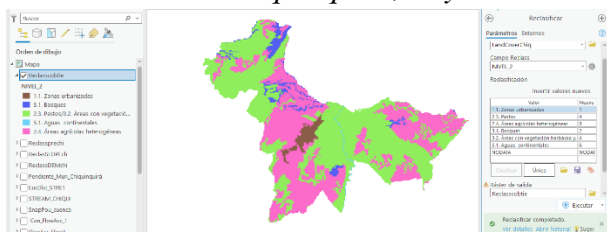
Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Figura 13. Esri. *Reclasificación Precipitaciones de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



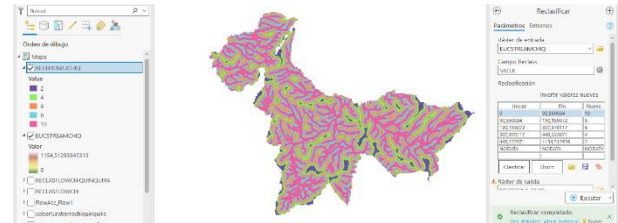
Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Figura 14. Esri. *Reclasificación Cobertura de Tierras de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

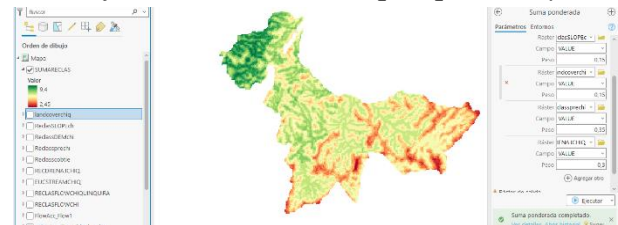
Figura 15. Esri. *Reclasificación Drenajes de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

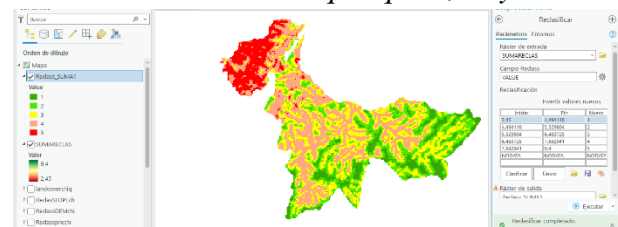
Dando continuidad en el proceso se realizó la Integración y modelación espacial en donde se utilizó la herramienta de *Suma Ponderada* en ArcGIS Pro para combinar las capas reclasificadas en un único modelo de riesgo, obteniendo como resultado un mapa preliminar de riesgo, que posteriormente fue reclasificado para simplificar su interpretación en cinco categorías.

Figura 16. Esri. *Suma Ponderada de Capas de Reclassificación de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

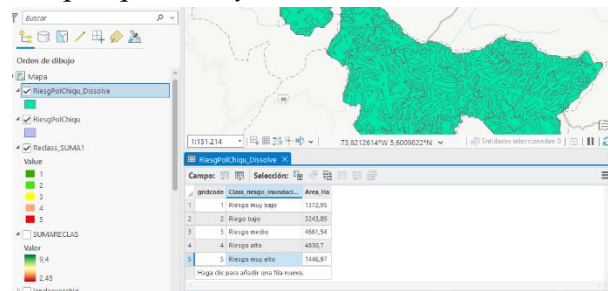
Figura 17. Esri. *Reclasificación de Suma Ponderada de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Continuamos con convertir capas ráster en capas vectoriales mediante herramientas de conversión de ráster a polígono en ArcGIS Pro. Realizamos procesos adicionales como "disolver" para simplificar datos, Agregamos columnas para clasificar el riesgo de inundación y calcular áreas.

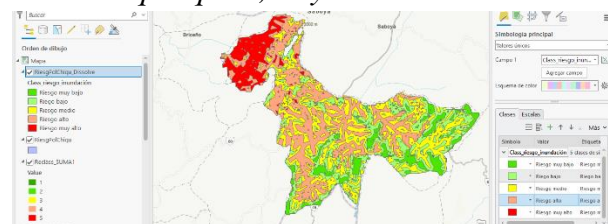
Figura 18. Esri. *Ráster a Polígono de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Finalmente calculamos el área de los polígonos generados y clasificamos los niveles de riesgo utilizando una simbología definida, obteniendo el mapa de clasificación de riesgo por inundación en el municipio.

Figura 19. Esri. *Riesgo de inundación en el Mun. Chiquinquirá, Boyacá.*



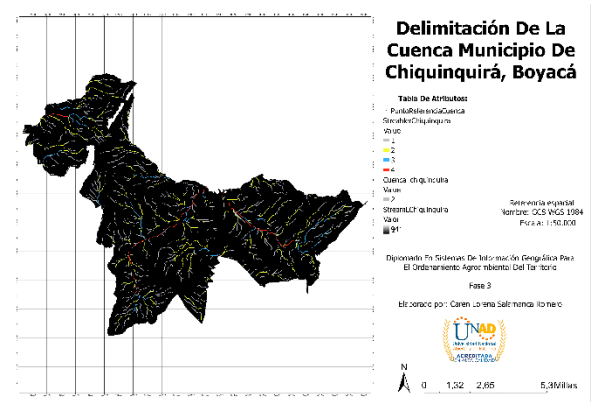
Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

Resultados

En cuanto a los resultados obtenidos podemos identificar la delimitación de la

cuenca hídrica del municipio de Chiquinquirá Boyacá.

Figura 20. Mapa de Delimitación de Cuenca Hidrográfica de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

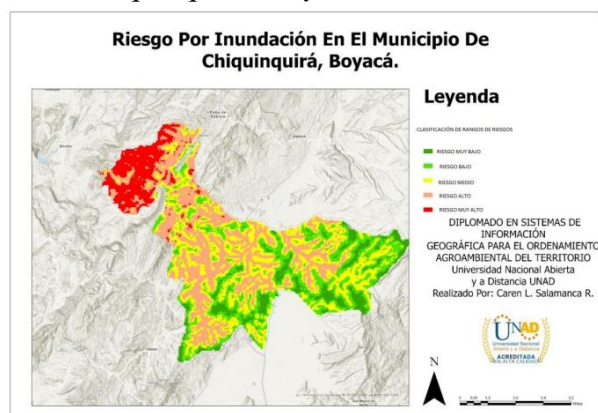
En el mapa es posible observar la delimitación de la Cuenca, allí se observa una línea negra que define los límites de la cuenca, indicando el área total drenada por el río principal y sus tributarios. Se visualiza una red de líneas negras que representan los cursos de agua que conforman la cuenca, desde el río principal hasta las pequeñas quebradas.

Acompañando el mapa, se encuentra una tabla de atributos que proporciona información adicional sobre los datos utilizados para la delimitación de la cuenca; en cuanto al punto de referencia de la cuenca indica un punto de referencia empleado para la delimitación; presenta valores numéricos asociados a los diferentes elementos de la cuenca, como el orden de los cursos de agua o códigos de clasificación. Se especifica que el mapa utiliza el sistema de referencia espacial GCS WGS 1984 y una escala de 1:50.000.

La cuenca del municipio de Chiquinquirá presenta una red hidrográfica ramificada, lo que sugiere una topografía variada con pendientes pronunciadas y posiblemente una alta densidad de drenaje; es fundamental la delimitación de la cuenca para la gestión de los recursos hídricos, la planificación del uso del suelo y la evaluación de los riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos como inundaciones o sequías.

El mapa de la cuenca del municipio de Chiquinquirá proporciona una valiosa herramienta para comprender la dinámica hidrográfica de esta región y para tomar decisiones informadas en relación con la gestión de los recursos naturales.

Figura 21. Mapa De Riesgo Por Inundación de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

El mapa muestra la distribución espacial de diferentes niveles de riesgo por inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, utilizando colores para indicar diferentes niveles de riesgo, permitiendo una rápida visualización de las zonas más vulnerables.

Los riesgos se clasificaron de la siguiente manera:

- Riesgo muy bajo (verde oscuro).
- Riesgo bajo (verde).
- Riesgo medio (amarillo).
- Riesgo alto (naranja).
- Riesgo muy alto (rojo).

Esta clasificación nos permite inferir que, las zonas del noroeste del municipio presentan un **riesgo muy alto**, probablemente asociado a características del terreno como pendientes, cercanía a cuerpos de agua o acumulación de escorrentías; áreas con **riesgo medio y alto** se concentran principalmente en partes centrales y orientales, donde podría haber mayor vulnerabilidad debido a la topografía o actividades humanas; la mayor parte del territorio está clasificada con **riesgo bajo o muy bajo**, lo que indica áreas menos susceptibles a inundaciones.

El riesgo de inundación en un lugar determinado está influenciado por diversos factores, como la pendiente del terreno, la densidad de la vegetación, la permeabilidad del suelo, la presencia de cuerpos de agua y la intensidad de las precipitaciones; Las zonas con **riesgo alto y muy alto** pueden afectar directamente a viviendas, infraestructura vial, y áreas productivas, aumentando la necesidad de planes de mitigación.

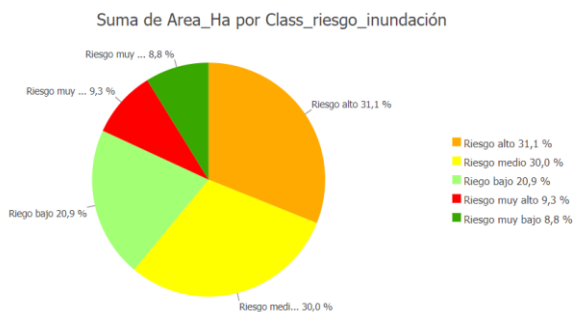
Tabla 1. Clasificación De Riesgo por Hectáreas del Mun. De Chiquinquirá, Boyacá.

Gridcode	Clasificación de Riesgo	Área en Ha
1	Muy bajo	1372,95
2	bajo	3243,85
3	Medio	4661,54
4	Alto	4830,7
5	Muy Alto	1446,98

Nota: Esta tabla muestra la clasificación de riesgo de acuerdo con la numeración de gridcode dada en el aplicativo ArcGIS Pro, como también el área en Ha. que representa

cada riesgo en la extensión del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

Figura 22. Pie Chart De Riesgo Por Inundación de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

El gráfico circular (o pie chart) presenta la distribución porcentual del área analizada de la cuenca del río Chiquinquirá clasificada por su nivel de riesgo de inundación. Cada porción del círculo representa un nivel de riesgo específico, y el tamaño de cada porción es proporcional al porcentaje del área total que corresponde a ese nivel de riesgo.

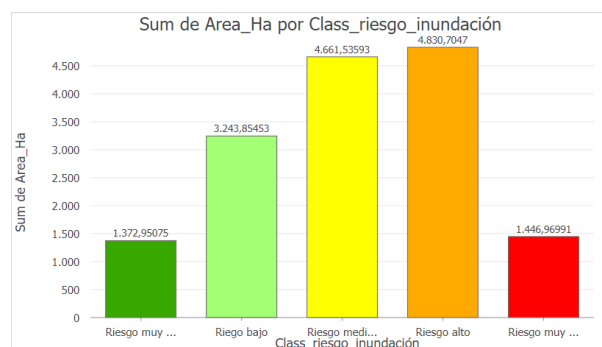
Las categorías de "Riesgo medio" y "Riesgo alto" concentran aproximadamente el 61.1% del área total, lo que indica que una porción considerable de la cuenca es susceptible a inundaciones de moderada a alta intensidad.

Los extremos del espectro, es decir, "Riesgo muy alto" y "Riesgo muy bajo", representan una proporción similar del área total, alrededor del 18.1%; predominando el riesgo alto con un 9,3% de inundación inminente ante una temporada de alto índice fluvial.

La categoría de "Riesgo bajo" representa aproximadamente el 20.9% del área total, indicando que una porción significativa de la cuenca tiene un riesgo relativamente bajo de inundación.

Las zonas clasificadas como de "Riesgo muy alto" y "Riesgo alto" deberían ser prioritarias para la planificación urbana y la implementación de medidas de mitigación de riesgos, como la restricción de construcciones y la creación de zonas de amortiguamiento.

Figura 23. Área Municipal en Zona De Riesgo Por Inundación de Mun. Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Creado en ArcGIS Pro con datos internos del proyecto (ArcGISPro, 2024)

El diagrama de barras muestra la distribución del área del municipio de Chiquinquirá, Boyacá, dividida en categorías según su nivel de riesgo de inundación. Cada barra representa una categoría de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), y la altura de cada barra indica la extensión total del área que pertenece a esa categoría.

Las categorías de "Riesgo medio" y "Riesgo alto" presentan las áreas más extensas, lo cual indica que una gran parte de la zona estudiada es susceptible a inundaciones de moderada a alta intensidad.

Se observa una tendencia creciente en el área a medida que aumenta el nivel de riesgo, desde "Riesgo muy bajo" hasta "Riesgo alto". Sin embargo, hay una ligera disminución en el

área de "Riesgo muy alto" en comparación con "Riesgo alto", lo que podría sugerir un pico en la distribución del riesgo en la categoría de "Riesgo alto".

La distribución del área entre las diferentes categorías de riesgo no es uniforme. Hay una diferencia significativa entre las áreas de mayor y menor riesgo, lo que implica una heterogeneidad considerable en la vulnerabilidad de la zona ante inundaciones.

Las áreas clasificadas como de "Riesgo muy alto" y "Riesgo alto" requieren una atención especial en términos de planificación urbana y gestión de riesgos.

Conclusiones

De los resultados obtenidos en el presente análisis podríamos concluir que la delimitación precisa de la cuenca hidrográfica permite identificar los límites del área drenada por el río principal y sus tributarios, lo que es crucial para comprender la dinámica hídrica del territorio; la red hidrográfica ramificada indica una topografía variada con pendientes pronunciadas y una alta densidad de drenaje, factores que influyen significativamente en los patrones de escorrentía y el riesgo de inundación.

La realización de este tipo de estudio es esencial para la gestión de los recursos hídricos y la planificación territorial, a través de la metodología aplicada se evidencia la eficacia del análisis multicriterio como herramienta en contextos complejos, integrando múltiples variables espaciales y no espaciales, la implementación de ArcGIS Pro permitió combinar procesos de análisis hidrológico, delimitación de cuencas, generación de zonas

de influencia y modelación de riesgos de manera estructurada y reproducible, variables que podrían fortalecer estrategias como la protección de nacimientos de agua y la restauración de ecosistemas que ayudan a reducir la vulnerabilidad ante inundaciones.

El modelo generado permitió clasificar el municipio de Chiquinquirá en cinco niveles de riesgo de inundación, destacando que las categorías de "*Riesgo medio*" y "*Riesgo alto*" abarcan el 61.1% del área total, lo que señala la necesidad de priorizar estas zonas en la planificación y la gestión de riesgos. Las áreas de "*Riesgo muy alto*", aunque representan una menor proporción (9.3%), demandan atención urgente debido a su alta vulnerabilidad.

La mayoría del territorio (riesgo bajo y muy bajo) está menos susceptible, lo que puede estar relacionado con terrenos planos o una vegetación adecuada; la pendiente del terreno, la densidad de vegetación, y la permeabilidad del suelo son factores clave que afectan el riesgo; el impacto de las precipitaciones y la capacidad de manejo hídrico influyen en las áreas clasificadas como de **riesgo alto y muy alto**.

El uso de herramientas SIG resulta fundamental para evaluar la vulnerabilidad del territorio, permitiendo una representación clara y detallada del riesgo de inundación que facilita la toma de decisiones informadas, la variabilidad en los niveles de riesgo confirma la heterogeneidad del territorio, lo que exige enfoques adaptativos y específicos según las características de cada área.

El uso combinado de datos cualitativos y cuantitativos enriqueció el análisis,

permitiendo una representación detallada de las dinámicas territoriales. Las técnicas empleadas, como reclasificación, suma ponderada y conversión de ráster a vectorial, garantizaron la integración de datos con diferentes escalas y resoluciones, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos.

La metodología aplicada puede ser replicada en otros territorios con características similares, adaptando los parámetros según las particularidades locales. Además, la integración de análisis hidrológicos y de riesgos mediante SIG promueve un enfoque interdisciplinario útil para la gestión ambiental, la prevención de desastres y la planificación sostenible. (Salamanca, 2024)

Recomendaciones

Es necesario implementar medidas de mitigación específicas para cada categoría de riesgo, como:

- *Zonas de riesgo muy alto y alto:* Restricción de construcciones, sistemas de alerta temprana, evacuación, reforzamiento de infraestructuras existentes.
- *Zonas de riesgo medio:* Regulación del uso del suelo, medidas de drenaje, restauración de ecosistemas.
- *Zonas de riesgo bajo:* Monitoreo continuo, preparación para eventos extremos, educación de la población.

La planificación urbana debe considerar los riesgos de inundación al definir zonas habitables, industriales y agrícolas; incorporando medidas de adaptación que consideren el incremento de eventos hidrometeorológicos extremos, como sistemas

de alerta temprana y simulaciones de escenarios futuros.

Es fundamental contar con planes de emergencia detallados para responder de manera efectiva ante eventos de inundación y actualizar los mapas de riesgo periódicamente integrando nuevas variables, como el uso del suelo y los cambios climáticos, para garantizar la relevancia y precisión de los análisis.

Se sugiere invertir en infraestructura resistente a inundaciones, como sistemas de drenaje, diques y muros de contención, como también promover políticas de gestión hídrica integradas con el ordenamiento territorial para mitigar el impacto de inundaciones y garantizar el uso sostenible de los recursos naturales. (Salamanca, 2024)

Referencias bibliográficas

- (ESRI)., E. S. (2024). ArcGIS Pro: Herramienta de análisis geoespacial. Redlands. CA: ESRI.
- (ISO)., O. I. (1984). Sistema de referencia geodésico global GCS WGS 1984. ISO.
- 101CeroSoftware. (11 de 2024). *Alcaldía Municipal de Chiquinquirá*. Obtenido de <https://www.chiquinquiraboyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- ArcGISPro. (2024). *Esri*. Obtenido de <https://www.esri.com>
- Ardila Viasus, D. A. (2018). Análisis sobre la gestión del riesgo de desastres en Boyacá 2015-2016.
- Diaz Rojas, R. R. (2024). Análisis multicriterio con ArcGIS para la ubicación adecuada de un relleno sanitario en la provincia de Ascope 2024.
- Espejel-García, A. R.-D.-R.-E.-C. (2015). Determinación del uso potencial agrícola mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio para la cuenca Balsas Mezcala. *Ra Ximhai*, 11, 77-95.

- ESRI. (2024). ArcGIS Pro (versión 3.1). *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, Recuperado de <https://www.esri.com>.
- G., C. D. (2022). PLAN DE CONTINGENCIA POR TEMPORADA DE LLUVIAS PRIMERA TEMPORADA DE LLUVIAS 2022.
- González Contreras, L. (2020). Evaluación del Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA) para la mejora de las condiciones de calidad del sistema de potabilización del acueducto de la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá – Boyacá .
- GOV.CO, U. (11 de 2024). *UNGRD*. Obtenido de Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>
- IDEAM. (11 de 2024).
- IGAC. (Noviembre de 2024). *Colombia en mapas*. Obtenido de <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>
- Llorente Isidro, M. D.-H. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 29,29-37.
- Malczewski, J. (2004). . GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in*. 62. 3-65.
- Muñiz-Jauregui, J. A.-M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1), 103-11.
- Pelmorex.Corp. (11 de 2024). *Clima Colombia*. Obtenido de <https://www.clima.com/colombia/boyaca/chiquinquirá>
- PEÑA, I. A. (2024). CONSEJO MUNICIPAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES CMGRD.
- Pinzón Ospina, E. (2015). Determinación de zonas aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de Suba, partiendo de métodos de análisis multicriterio y herramientas SIG.
- Román Arias, A. G. (2024). Propuesta de aplicación del método de análisis multicriterio con el software ArcGIS, para la selección eficiente de la ruta preliminar de la Vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay.
- Salamanca, C. (2024). Análisis de riesgo por inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá. *Datos internos del proyecto*.
- UNAD. (noviembre de 2024). Guía De Actividades y Rubrica De Evaluación Fase 4. Obtenido de <http://www.siac.gov.co>. Recuperado el 2024, de <http://www.siac.gov.co/zonaspotencialmente-inundables-zpi>

Enlace de sustentación:

<https://go.screenpal.com/watch/cZlXcBnnxz>

[o](#)